土壤資訊於農業管理之應用

劉滄棽、朱戩良、江志峰、葉明智、郭鴻裕*
行政院農業委員會農業試驗所農業化學組

摘要

土地資源為人類賴以維生之自然資源，它提供了農林業生產、排水灌溉、休閒娛樂等功能。農委會農業試驗所多年來累積的土壤調查、土壤肥力等資料庫，結合自然環境與生物因子對農作物生產管理的評估分析，可提供從國家決策分析、地區性農地利用專業規劃、或是全臺各地基層農民使用等不同範疇之應用。

關鍵詞：土壤資源、土壤資訊、農業管理。

Application of Soil Information on Agricultural Production

Tsang-Sen Liu, Chien-Liang Chu, Chih-Feng Chiang, Ming-Chih Yeh and Horng-Yuh Guo *

Agricultural Chemistry Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien 41301, Taiwan ROC

ABSTRACT

Soil is a vital resource for human living. It provides multi-functions, including food and timber production, irrigation and drainage, and landscape and recreation, in agricultural sector. Taiwan Agricultural Research Institute has collected soil information for more than 90 years. The paper presents examples of soil information application from farmer to national decision maker levels on natural resources management and agricultural production.

Key words: Land resources, Soil information, Agricultural management.

* 通信作者, hyguo@wufeng.tari.gov.tw
投稿日期：2005 年 10 月 26 日
接受日期：2006 年 3 月 27 日
作物、環境與生物資訊 3:115-122 (2006)
Crop, Environment & Bioinformatics 3:115-122 (2006)
189 Chung-Cheng Rd., Wufeng, Taichung Hsien 41301, Taiwan ROC

前言

自十九世紀末土壤學萌芽以來，世界各國對土壤資料均相當重視；近年全球化之趨勢，世界自然資源管理組織對於地球之土壤資料蒐集亦花費相當心力，其它土木工程、環境保護、水文、地質、地球化學、考古與社會經濟等學門對土壤資料也都有相當程度之應用(USDA 1993)。西方各先進國為因應社會大眾對土地利用及環境保護之需求，在 1970 年代已逐漸發展土壤資訊系統(soil information system)，供土地能限分級、農地利用規劃、稅級評訂、地下水保護、環境風險評估等等，充分發揮土壤調查資料之應用。

事實上土壤調查是一門複雜之學問，涉及知識與技術範圍相當廣泛，主要工作包含：(1)訂定調查地區重要之土壤性質，(2)將土壤區分類型並歸入定義之分類單位，(3)建立及繪製不同類型土壤分布界線於地圖，及(4)關聯及預測各土壤類型對不同管理系統之生產能力與產量及其它土地利用限制和後果之預測等(USDA 1993)。

土壤調查報告係以專業語言記載，非土壤專業人士無法充分利用，同時土壤調查圖文資料繁多，查閱或圖上作業費時費力，龐大之圖文資料必需應用資訊科技解決。利用地理資訊系統及專業之判釋，可將各種艱深之圖文資料轉為各階層利用之主題圖，增加土壤資料之可利用度，發展一容易查詢及分

析功能之應用軟體，讓使用者在不瞭解土壤資料庫結構及地理資訊背景，仍可以很快得到所需之土壤資訊及完整的土壤性質分布圖與統計資料是自然資源管理工作者所期望。

土壤資料庫之建置

一、農田土壤調查資料之建置

土壤調查關係土地利用、土壤改良、地力維持、農田水利開發及肥培技術實施，是農政措施之張本。前臺灣省政府及行政院農業委員會規劃科有鑒於農地管理之重要，於民國七十六年度起補助臺灣省農業試驗所資訊設備，並先將臺灣地區稻田生產力分級圖數化，提供各地政單位查對農田生產力等級，以保護優良農田。自民國七十七年度起本所接續數化耕地土壤圖，該系統解決了土壤調查報告(共 11 冊，1678 頁)、圖籍資料龐大(164 幅，33 平方公尺)繁雜查閱困難(三萬多個圖塊)、專業用語之描述不易瞭解等諸多問題，同時利用地理資訊系統與專業知識之闡釋，將土壤圖文資料轉為各種主題圖，增加土壤調查資料之可利用度(Guo *et al.* 1996)。同時前臺灣省政府農林廳水土保持局也進行坡地土壤圖數化工作，因為受限於軟硬體設備之不同，兩資料庫並未完全整合。

建置土壤資料庫之初，受限於開發軟體，每一多邊形其屬性資料僅能容納 11 項資料，所以只能將土系之母質、土壤性質、生成因素、排水等級、石灰性、坡度、剖面土壤酸鹼度、土型、30-60 公分、60-90 公分及 90-150 公分等不同深度剖面質地記入；另有建立土系名稱及土相(漂石、石礫等)等附加檔，這些資料延用至今。雖然建置資料簡單，但每年皆提供為各農業、水利、環保及工程等學門之政府、學術機關利用。

隨著網際網路建置發展，擴大土壤資訊推廣，使各階層都能接觸到有關土壤的知識，進而關心土壤環境，了解土壤保育對人類生活的重要性。八十六年配合前省府網際網路建置發展，開發土壤資料網路查詢系統，但因圖檔使用查詢人員過多，經常當機。在九十年更新資料內容，建立網頁(http://pa.tari.gov.tw /soildb)，將土壤調查報告與坡地土壤調查報告及歷史土壤圖建檔，供一般民眾查詢，每年超過八千人次應用。

二、坡地土壤調查資料之建置

坡地土壤資料建置是由水土保持局 84 年 6 月建置完成，建立圖形資料檔已轉為二分帶的座標系統，資料格式為 arc/info，共 261 幅，包含部分平地土壤圖部分。其屬性資料，包括：縣市別、土類、土壤厚度、坡度、土壤表土質地及土系名稱等八項資料，詳見坡地土壤圖資料說明(詳請參水土保持局網站)。

『山坡地圖土壤調查數化圖檔』是由水土保持局完成之土壤圖數化工作，委託成大測量系設計一套能有效管理數值圖檔的土壤圖索引系統，以配合數值作業程序及業務管理之應用。經由此系統之建立，達到顯示、查詢等管理作業之一貫性、自動化，以節省作業進行之時間、人力，並使整個系統資料之保存、更新作業能更加完善。資料範圍包括：(1)海拔 100 公尺以上 1000 公尺以下。(2)海拔 100 公尺以下平均坡度 5%以上。資料格式包括：(1)每一數化檔以一張二萬五千分之一的土壤圖為單位，其分版比照舊版地形圖(六分帶)，但數化值已轉換成二分帶的座標系統。(2)土壤圖形檔以 DXF 格式儲存，是利用 AutoCAD 軟體的 DXFOUT 指令將圖形轉換成 ASCII 格式的資料檔；可再利用 DXFIN 指令將 DXF 檔轉換成圖形來展示。資料庫建立在 ArcView 2.0 for Windows 之環境下，所需之資料可分為圖形及屬性資料。圖形資料是以圖形為向量式資料，分為土壤圖及全臺灣之行政區界圖。其中行政區界圖主要用於查詢功能，為系統建立時以數化方式得之；土壤圖則用於細部之顯示功能，資料來源為糧食局所建立之數值土壤圖庫。屬性資料部

分利用建立數值圖庫時建立之 dBase 檔案作為其相關之屬性資料。資料處理以原始之土壤圖命名以圖幅之英文名稱為主，在本系統中之圖幅，一律以圖號為命名方式。圖號之設計共分六碼，前四碼為該幅圖在五萬分之一地形圖上之圖號，第五碼為圖幅在該五萬分之一圖幅範圍中由左至右之順序，第六碼則為由下至上的順序。

三、森林土壤調查資料之建置

配合森林土壤調查計畫，林業試驗所建立森林土壤資訊系統，本資料庫仍建置中。建立地理資料庫係以事業區為單位，採用底圖為一萬分之一(林地)及五千分之一(平地部分)。資料庫圖框檔之建置及控制點編碼均依『林務局農林航空測量所』的林型圖數化建檔作業方式，以求資料之統一性。

本資料庫資料格式為 arc/info，內容包括：樣點資料(point)、地形單元資料(topo)、土系資料(series)及土相資料(phase)四項。樣點資料項之屬性資料包括：日期、圖名、位置、調查員代碼、地形、高程、坡型、坡長、坡向、坡度、土地利用、主要植生、上層植被密度、下層植被密度、漂石量、沖蝕程度、乾溼程度、排水等級、土壤深度、土壤母質、土系名稱等。地形單元資料項之屬性資料包括：母質、坡向、地形、坡度、土地利用、地形單元代碼、海拔高等。土系資料項之屬性資料包括：組成土系數目、土系名稱、土系代碼、聯域土組成註記、海拔高等。土相資料項之屬性資料項包括：土系名稱、土型、坡度級、土相、海拔高、土項代號等(詳請參林試所網站)。

發展中之土壤資料庫

臺灣之土壤調查分平地、山坡地及林地三階段進行，前後跨越四十餘年，因時空因素不同，歷次調查產生之調查報告項目及土壤圖精度和涵蓋地區皆有出入。經過多年之田間調查經驗與查核，瞭解土壤圖之品質好壞是有年代、計畫別與地域性之差異，不可否認有許多土壤調查資料是有許多缺失，指出如下，待有機會補救。

臺灣地區之土壤詳測調查在全世界各國是相當早進行的，當時的土壤調查技術未能完善，造成土壤圖之繪製缺失。又我國的土壤調查工作無專門單位負責，人員缺乏專業訊練、工作環境不佳，所以在土壤調查工作無法一貫，無法持續更新土壤調查資料、學習國外土壤調查技術之特長，逐漸與國外土壤調查技術脫節所產生之後果。目前產出之土壤圖經常發現之問題包括：底圖老舊未更新與地上物不合、土壤圖廓與地形變化不符、繪圖單位在地形位置分布不吻合、土壤圖廓線未閉合、土壤圖廓線套合偏差、不同圖幅接邊問題、土壤圖廓註記遺漏、土壤圖廓註記筆誤、現場經常發現土壤性質與圖面資料不符、圖形表達親合性不足等等，影響使用者對土壤調查資料之信心。與世界許多國家遭遇的問題一樣，我國亦面臨土壤調查之屬性資料缺乏之問題，或應該是說資料定量化不足，而無法深入應用。目前土壤調查資料之繪圖單位之屬性資料缺乏項目包括：說明土壤繪圖單位之類別組成、環境背景、植生資料、產量資料、土地利用、各土層之土壤性質不齊全及土壤分類單位等資料。

土壤調查人員與其它學門的交流管道缺乏，所以土壤調查闡釋資料缺乏專業性；相對的，其它自然資源管理研究缺乏土壤調查資料之支援與應用，缺乏空間化之概念，研究成果實用行不高，均是常見的現象；加強土壤調查學門與其它學門的溝通是未來的趨勢。

自九十年起由經濟部資訊中心支助為期三年的專案即正進行土壤圖之接併作業，將數化之土壤圖合併、座標系統標準化，研判重疊矛盾地域或未調查區之正確性質，進行修圖作業，祈求得到全臺完整的土壤圖。作業過程中圖形資料部分，雖解決了部分前述諸多因素，但圖形接併進行並不是很順利，

土壤工作小組擬定幾個解決原則，暫時解決坡地與林地資料之圖形接併問題，但並非永久之計。圖形作業無法只在地圖上修改土壤圖廓界限，必需現場驗證，方符合土壤調查之精神。

農業試驗所計畫自九十二年起，將以六年年時間，搭配其它計畫，以土壤半詳測的標準調查方法、樣區現場採樣、3S 技術利用、舊有調查資料參考等輔助措施，完成半詳測調查之坡地、林地重疊矛盾地區之土壤圖之修圖作業。期望本計畫可以澈底解決土壤調查圖形資料問題，成圖並當為未來執行詳測調查之重要參考依據。在調查作業過程中特別注意觀查點密度與空間分布關係、地形與土壤之關係、定量化資料收集、資料品質控制、依據野外調查規範進行，以確保土壤圖品質與資料正確性。同時藉調查計畫進行，加強田間方法改進、非農業用途資料收集，進行野外調查、室內分析、資訊應用人員訓練，培養人材，成立國家土壤調查實驗室。

農業試驗所與各區改良場自八十一年起至九十四年度底已完成五十萬公頃農地的採樣，全部樣品分析層次深度為 60 公分，部分樣品分析深度 150 公分，採樣密度達到詳測調查之標準，目前陸續整理完整之已調查耕地且土壤性質獨立區域，例如東部地區農田，建立繪圖單位之土壤化學性質代表值與分布範圍。建立土壤調查資料的定量化資料庫，另一方面可供為檢測土壤繪圖單位之純度、更新土壤圖廓註記等多重用途，全部工作計畫在九十五年底完成。

土壤物理性質量測是相當費人力、時間、經費與量測誤差大之工作，一般土壤調查資料最缺乏各土層之土壤物理性質資料，然而許多的環境、水文、水土保持等學門應用土壤調查資料的需求卻是定量化的土壤剖面各層次土壤物理性資料，常因無法供應而失去土壤調查資料應用的機會。為了解決土壤調查資料一些資料不足的重大缺失，自九十三年度起，農試所將開始進行臺灣地區土壤物理資料的調查，建立土壤繪圖單位各土層的重要土壤物理性質資料，雖經費仍缺乏著落，但仍將配合其它計畫緩慢著手進行。土壤物理性量測無法如土壤化學性量測的快速大量進行，所以必需技巧性的選擇樣品，使在樣品之空間分布、樣品數與土壤繪圖單位之資料可靠性取得平衡。部分土壤物理性資料雖可以用土壤參數轉換公式(pedotransfer function，PTF)推演獲得，但是仍需要有基本資料的支持，才能導衍新的資料，所以在土壤物理性質的量測面，至少要完成收集最基本的資料組(minimum data set)。

此外在土壤性質量測方法不同引起資料應用之困難、土壤調查資料不足急待擴大資料量的問題方面，除了正規性的土壤調查採樣，建立土壤資料庫規範，定義各分析方法的意義與應用，使用者可以由土壤資料庫規範清楚瞭解資料性質與應用土壤調查資料。此外土壤資料庫規範將各單位使用不同土壤分析方法建立編碼，登錄其方法及操作步驟，如果其分析之樣品有座標後，不論何種分析方法產出數值均可納入土壤資料庫，加以註記分析單位、分析方法代碼，即可供其它使用者參考。使用者在應用資料時，只要瞭解資料提供者之分析方法與操作步驟，即可以瞭解該資料之意涵與使用風險。目前經濟部資訊中心已協助建立土壤分析方法規範之初步架構，希望能繼續改進並擴大進行，解決目前土壤調查資料庫資料不足之問題。

土壤資訊在農業管理之應用

一、臺灣地區稻田生產力分級規範及調查

民國 66 年至 75 年(1977-1986 年)臺灣省農業試驗所與各區農業改良場合作進行『臺灣地區稻田生產力分級規範及調查』(Chen *et al.* 1988)。計畫之主要目的有三：(1)簡化土壤圖並圖示水稻生產力等級及其生產限制因

子，(2)供為水田利用及改進技術諮詢工作之基礎，(3)供土地利用及生產規劃之依據。

本調查除編印調查總報告外，另繪製比例尺兩萬五千分一稻田生產力分布圖 352 幅，比例尺十萬分一分縣圖及比例尺二十五萬分一全省概圖，提供中央、省及縣市政府之農、地政及大學等有關機關土地利用與農地規劃之依據，已被利用於地政、農業災害保險實施之評估、農業生產規劃等多方面。

二、農田地力增進初步調查

本資料由比例尺兩萬五千分一土壤圖之土壤資料庫產生，各項土壤生產力之限制因子分布位置可藉由繪圖機繪出，提供初步之資訊供為細部調查之參考。本報告將各鄉鎮之阻害項目、面積列出，供為土壤改良施政規劃之參考，並附全省之各項待地力增進分佈圖供參考。初步規劃本省農田地力增進之項目，有(1)有效土層深淺；(2)表土石礫；(3)表土耕犁難易；(4)含鹽土壤；(5)酸性土壤；(6)排水良否；(7)土壤保水能力；(8)土壤養分含量；(9)土壤污染；(10)風害；及(11)其他(土壤有機質含量)等。

三、土壤管理組

不同土系間雖分類上不同，但在某些應用方面，卻具有共通特性，歸納為組，可收化繁為簡之利。在農業利用上具有共通性質之土壤，如土壤之地理位置、母質、排水及土壤性質近似者，可合為一管理組。在一土壤管理組內，又因坡度、沖蝕及作物管理等之不同，再分為管理單位。

『臺灣省耕地土壤詳測調查』調查區域土壤之土系分類，係以土壤母質、剖面質地、排水情況與其他特徵，作為區分基準，已顧及實用之科學分類。在實際土壤管理上，以現在管理技術及有關土壤與作物生長關係之瞭解程度，依土壤管理上所需措施之相似性，將若干土系再歸併於同一管理組。同一管理單位之各土壤，所適宜之作物、耕作制度、水分控制及作物對管理之反應等皆相同，則可將土壤調查資料化繁為簡，易於推行應用(Chen 1969)。

本歸類原則即以水稻與普通旱作物為對象，根據土壤特性作歸類，土壤剖面質地分為：細質地、中質地、中粗質地、粗質地、淺層等 5 類；排水區分分為：排水良好、排水不完全、排水不良、浸水等 4 類；地理位置、母質與成土因子等分為：非石灰性沖積土、東岸母岩沖積土、片岩石灰性沖積土、石質土、有機質土、片岩非石灰性沖積土、低地石灰性沖積土、安山岩沖積土、低地腐質灰色土、崩積土、紅壤、低台地非石灰性沖積土、黃壤、黑色土、老沖積土等 15 類，將平地土壤分為 103 組，平均每鄉鎮農地可分為 3 至 7 組，對於農田管理類別簡化甚多，推廣應用已可被農友接受。唯過去臺灣地區各種田間試驗甚少注意土壤之分類問題，故各管理單位缺乏具體之推薦適宜作物、施肥方法、肥料種類及施肥量及土壤管理操作之知識，未能對個別管理組作詳細而實用之建議。

四、農田土壤氮肥承受力敏感度

農業之施肥措施常被認為地表水或地下水質污染之主要原因，以目前施肥技術水準而言，為了維持一定水準之產量，又要降低耕作成本，施用肥料難免會影響環境品質，特別是氮肥。另一方面不同作物之肥料吸收率差異很大，不同作物所需肥料量亦不相同，如果不能明瞭作物之需肥量與吸收肥料型態、時期，不當之施肥自然造成環境之污染。

臺灣地區許多農田位於舊河床或沖積扇，土層淺薄且富砂礫，造成地域性之土壤保肥力小、土壤之滲漏性快、地下水位高及地表逕流等問題，易溶性肥料在土體中之移動快速，如不能小心施用肥料，施用過剩之肥料流入地表排水系統或地下水層即造成地區性之水質污染問題。

農試所曾在濁水溪沖積扇地區農田進行

氮素肥料承受力之分析、驗證及分佈圖繪製等研究，建立臺灣農田土壤之氮素肥料污染承受力分級之模式並繪製分級圖。土壤圖之蒐集與轉置建檔工作，分析土壤與氮肥承受力相關之屬性資料；包括土壤因子：質地、排水、土層深淺、石灰性、母質、酸鹼度；土地利用：水田、旱田、水旱輪作等，建立本省農田土壤之氮素肥料污染承受力分級之模式規則。以濁水溪沖積扇為例，繪製濁水溪沖積扇地區農田之氮素肥料承受力分析圖。

為防範超施肥料引起的地下水水質污染，預先對各地區不同性質的土壤估計其可承受的肥料總量，則可減少因淋洗作用造成肥料向下移動，以降低對地下水可能的污染。期望藉此建立農田土壤之氮素肥料承受力資訊，供為防治肥料污染地下水水質決策之依據，並指引地區農業指導人員教導農民施肥量、方法以及優先管理區域順序，防範敏感區之氮素肥料污染地下水。

五、發展「農業環境管理專家系統」

農業科技與研究經常未能落實於基層農業生產者或是決策者，此外也未能針對不同耕地差異性提出因地制宜的管理建議，應積極發展資訊媒體與專家系統，針對重要產業作物，建議依據農業環境而推薦之農業生產管理技術專家系統。

透過「農業環境管理專家系統」之系統規劃，可將多年來建置之土壤基本資料庫與肥力資料庫資訊具體化應用於農作物生產管理。另外，彙整臺灣全島 30 年歷史氣象資料，建立重要氣候統計資訊，將有助於未來專家系統推估土地利用潛能之成功率，與提供農民於田區農作物栽培管理建議之核心知識產生(Fig. 1)。

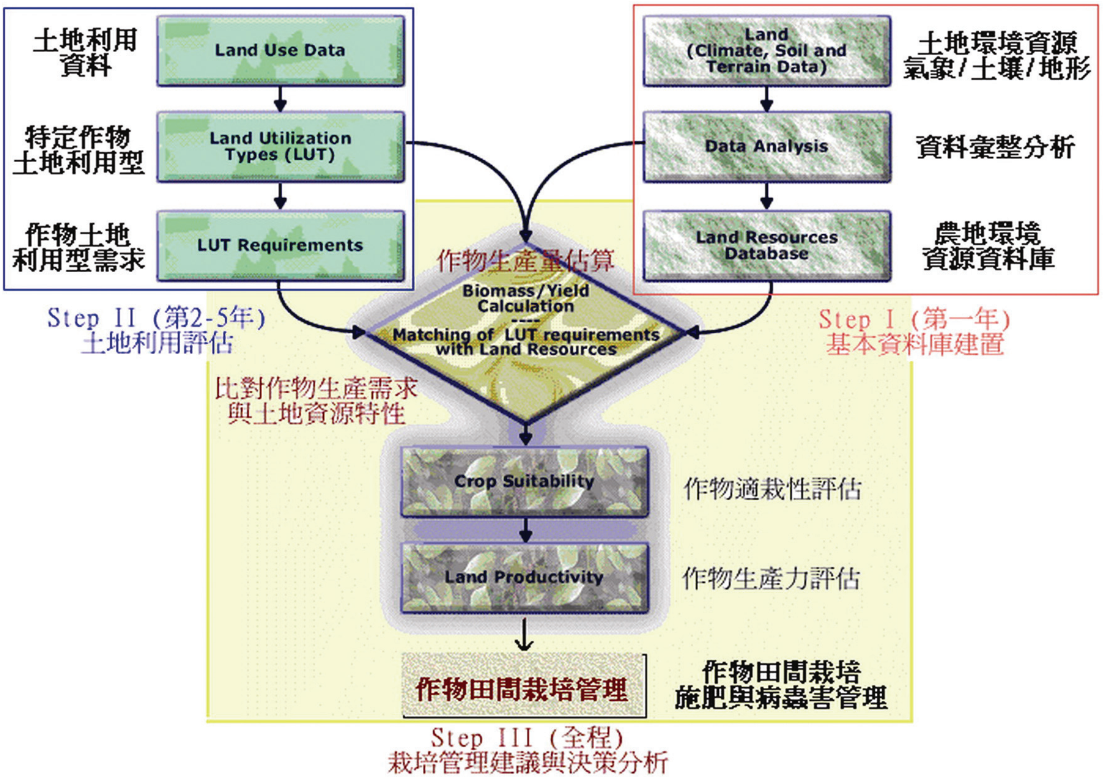

Fig. 1. Framework of agricultural environment management expert system.

1.現階段發展成果

水稻專家系統之應用與推廣

由於本系統使用對象包括一般對電腦並不十分熟悉的農友，所以設計構想是希望農民只需要輸入最少量的基本資料，包括地號、種植作物、種植時間等，提供農民實用的農地管理資訊(Fig. 2)，包括五模組：

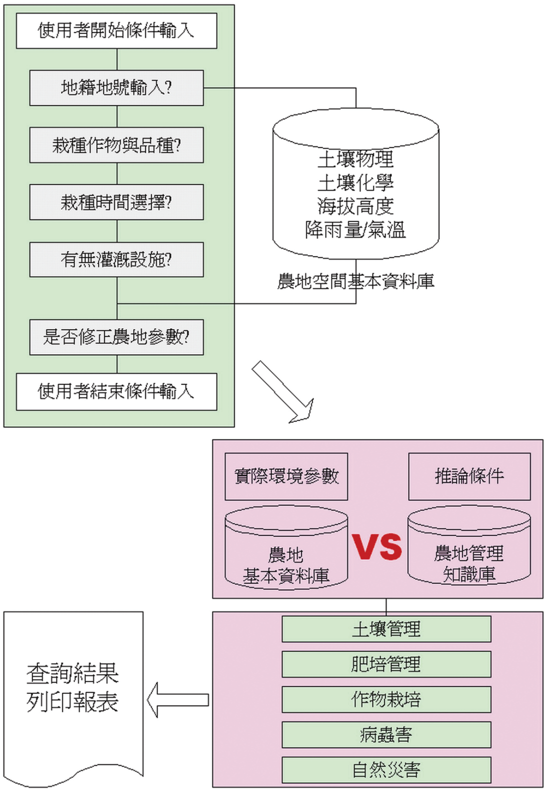

Fig. 2. Process flow chart of agricultural environment management expert system.

土壤管理

包括作物種植主要限制(重金屬含量)、土壤質地、養分、土層深淺、酸鹼性、鹽分含量等農地基本檢測以及是否符合有機米栽種標準(Fig. 3)。

作物栽培管理

以水稻生長六大時期為序，依次排列，並根據各期所需積溫以及最前面使用者輸入的種植起始時間來推算每一期的進入時間點，方面農民精確掌握時程管理(Fig. 4)。

Fig. 3. Soil information.

肥培管理

利用土壤內涵養分與預計水稻產量所需養分之間的差額來計算肥料施用量，使用者可以選擇單質肥或複合肥，並且會進一步計算出所選擇肥料每公頃所需施用量與成本供農民參考(Fig. 5)。

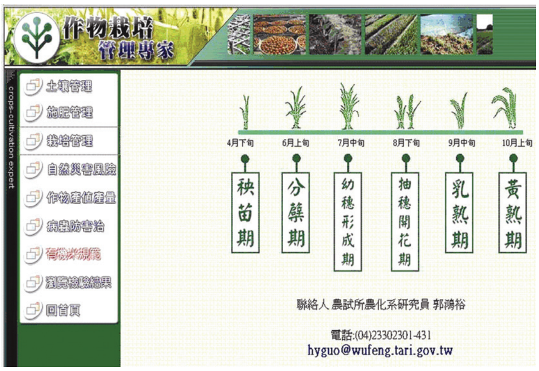

Fig. 4. Crop management information.

Fig. 5. Fertilizer management information.

病蟲害防治(Fig. 6)

Fig. 6. Pathogen protection information.

自然災害風險(Fig. 7)

Fig. 7. Nature disaster risk information.

2.查詢結果輸出模組

提供兩種資訊輸出方式

(1)螢幕瀏覽

農民直接透過網路瀏覽器獲得前述六大項資訊，系統可以充分利用多媒體、超連結等設計方式傳遞訊息。

(2)報表列印

將所有管理建議以純文字方式，摘要列印供農民閱讀與保存。

結論與建議

臺灣之土壤資料未來需要加強定量化的土地評估方法，提高資料之可信度；建立包含社會及經濟性、土地利用改變與環境衝擊關係的土地評估方法；發展各學門應用的土地評估方法，建立適合各學門專一性應用的土壤調查報告，改進土壤圖與土壤調查報告的親合性；發展資訊完整但簡單化的土壤調查報告及市場化、資訊化的土壤資料庫表達技術(Zinck 1992)。

在臺灣地區因土壤教育不能普及於各行各界，所以土壤資料之提供需其它學門結合應用進一步的加值解釋，以供利用者能直接獲得所需之土壤訊息，並主動的誘導各行各界應用基本土壤知識，瞭解土壤資料的應用法與效益。

土壤資料庫相當龐大，除繼續加強土壤資料庫之建置與網路之查詢技術，對於土壤資料庫之衍生資料應用也應公開與流通。土壤資料庫及應用系統在成熟之後，應藉由資訊與通訊科技，利用已全省數化完成之土壤圖與土系資料庫，開發簡易而快速的網路查詢系統，提供各業務單位利用及全體國民查閱，以推廣土壤資訊，大幅提昇資訊公開和流通的效率，發揮國土之多元化功能，促使國土環境資源透明化，基礎建設發揮最大效益。

－編輯：楊純明

引用文獻

Guo HY, TS Liu, CL Chu, CF Chiang (1996) Introduction of soil information system of TARI. (in Chinese) **Soil Fert. Newsl.** (56):10-12.

Chen CC, HY Cuo, HK Wu (1991) Productivity classification of paddy rice in Taiwan. (in Chinese) TARI Special Bulletin No.34. Taiwan Agricultural Research Institute. Wufeng, Taichung, Taiwan ROC.

Guo HY (1993) Preliminary report of soil fertility improvement in Taiwan farmlands. (in Chinese) TARI Special Bulletin No.42. Taiwan Agricultural Research Institute. Wufeng, Taichung, Taiwan ROC. 90pp.

Chen CC (1969) Soil survey report of Tainan County. (in Chinese) Department of Soil Science, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan ROC.

USDA (1993) Soil Survey Manual. USDA Handbook, No.18. p.437. Washington, DC, USA.

Zinck JA (1992) Soil Survey: Perspectives and Strategies for the 21st Century. ITC publication No.21. Enschede, International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences, The Netherlands.